

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. XXI, 10

SECTIO B

1966

Z Katedry Geologii Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMCS
Kierownik: doc. dr Jan Morawski

Roman GWÓŹDŹ, Roman RACINOWSKI

Przyczynek do metodyki określenia obtoczenia żwirów

A Note on Methods for the Determination of the Gravel Rounding Degree

WSTĘP

Coraz powszechniejsze stosowanie oceny kształtu żwirów, jako kryterium dla rozwiązywania problemów sedimentologicznych, skłoniły autorów do rozważań nad wyborem metody, która spełniałaby następujące warunki: 1) byłaby obciążona małym błędem subiektywnym, 2) charakteryzowałaby się wysokim stopniem powtarzalności wyników, 3) nie wymagałaby nadmiernego zużycia czasu, 4) spełniałaby wreszcie główne zadanie, które pozwoliłoby w oparciu o uzyskane wyniki wyróżnić odmienne środowiska sedimentacyjne lub też uchwycić zmiany zachodzące w jednym środowisku.

Autorzy rozważyli możliwość spełnienia tych warunków na przykładzie obtoczenia żwirów.

I. PRZYGOTOWANIE MATERIAŁU DO ANALIZY ORAZ PRZYJĘTE METODY

Materiał żwirowy o średnicy od 2 do 5 cm, zebrany z różnych środowisk genetycznych, podzielony został na trzy grupy: a) żwiry skał krystalicznych (granity, granito-gnejsy, gnejsy oraz porfiry), b) żwiry piaskowców o lepszemu krzemionkowym, c) żwiry wapienne.

W każdej próbie wybrano po 50 żwirów jednej grupy petrograficznej, co daje łącznie 150 żwirów pobranych z jednego miejsca. Ilość 50 żwirów dla jednej próbki jest wystarczająca, aby w oparciu o nią można było przeprowadzić badania porównawcze. Z wzoru podanego przez

Kucharenkę (10): $\epsilon' = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot (100 - A)}{n}}$ (ϵ' — absolutny błąd praw-

dopodobny; A — zawartość danego składnika w analizowanej próbce; n — ogólna ilość analizowanego materiału) wynika bowiem, że prawdopodobny błąd pochodzący z liczebności analizowanego materiału dla 2% zawartości danego składnika wynosi około 1%, dla 30% około 4%, a dla 50% niecałe 5%.¹

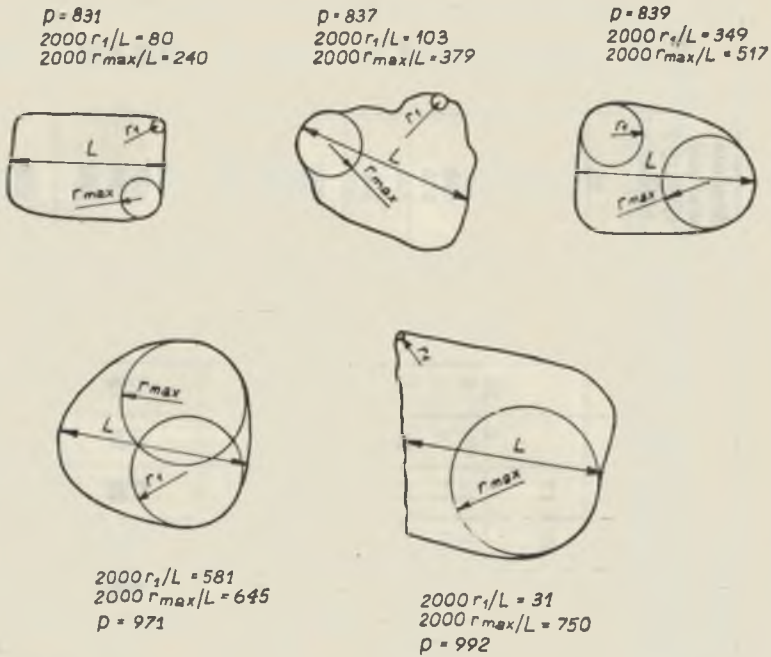
Określanie obtoczenia przeprowadzano na fotograficznych rzutach żwirów, na których można dokładniej i szybciej określać obtoczenie żwirów oraz dokonać w krótkim czasie kontroli otrzymanych rezultatów. Obtoczenie żwirów przeanalizowano za pomocą dwóch skal wizualnej oceny kształtu², a mianowicie: 9-stopniowej skali W. C. Krumbeina (1941) oraz skali Dal Vesco (cyt. za Wojno i Pentlakową — 1956, s. 36—37). Tę ostatnią zmodyfikowano nieco, wydzielając obok sześciu klas (I—VI) obtoczenia, jeszcze klasę VII, która charakteryzuje przełamane żwiry obtoczone, a więc przełamane żwiry klasy IV, V, VI (R. Racinowski 1966). Równocześnie zastosowano metodę K. Richtera (1954), który stosuje jednocześnie dwa histogramy; jeden z nich przedstawia współczynnik $2000 r_1/L$, wprowadzony przez Cailleux, oraz współczynnik $2000 r_{max}/L$ (zastosowany przez K. Richtera).³ W oparciu o te dwa histogramy Richter wylicza średni, umowny przedział charakteryzujący jedną liczbą zokrąglenie żwirów danej próbki. Modyfikacja powyższej metody polegała na tym, że każdą próbkę żwirów charakteryzowano równocześnie dwoma średnimi współczynnikami zaokrąglenia (największym i najmniejszym), nanosząc je na osie współrzędnych. Część materiału (30 próbek) przeanalizowano jeszcze za pomocą współczynnika perymetrii (Tonnard 1964), który wyliczono

z wzoru $p = \frac{4000 \times S}{P \times L}$ (p — współczynnik perymetrii, S — powierzchnia ziarna, P — obwód żwiru, L — długość żwiru).

¹ W oparciu o specjalnie przeprowadzone badania N. Mihăilescu (1965) sugeruje wykonywanie analiz 120 żwirów frakcji 4—6 cm oraz 150 frakcji 3—3,5 cm. Przy takiej liczebności analizowanego materiału błąd wartości średnich wynosi poniżej 10 jednostek współczynnika $2000 r_1/L$. Przy stosowanej przez nas liczebności 50 żwirów błąd wartości średnich wynosi około 30 jednostek współczynnika $2000 r_1/L$.

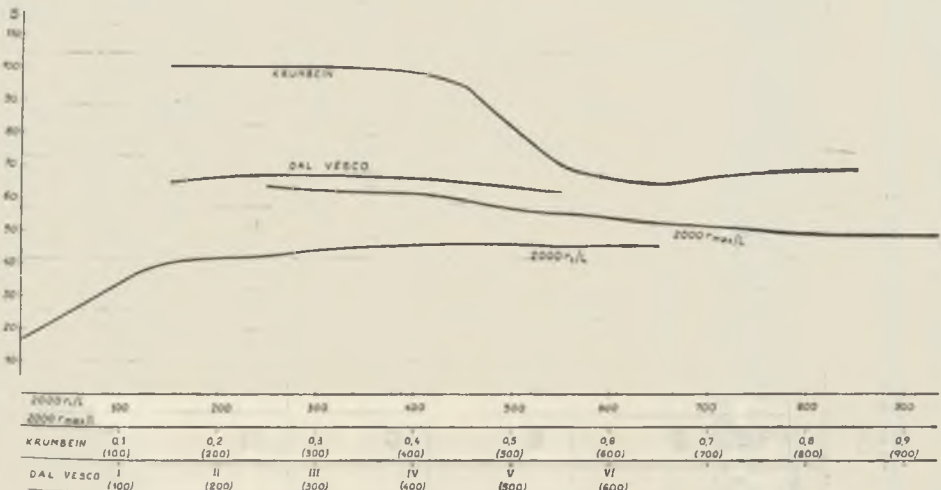
² Warto przypomnieć, że istnieje cały szereg metod pozwalających określić wizualnie obtoczenie ziarn mineralnych we frakcji piaszczystej. W Europie jako jeden z pierwszych metodę taką przedstawia w r. 1933 E. Szádeczky-Kardoss. W oparciu o założenia tej metody H. Barsch i H. Brunner (1963) analizują żwiry z rzek południowej części NRD.

³ r_1 — promień najmniejszego koła dającego się wpisać w naroże żwiru, r_{max} — promień największego koła wpisanego w żwir, charakteryzujący największą krzywiznę danego otoczaka, L — długość żwiru.



Ryc. 1. Przykłady pomiarów współczynnika zaokrąglenia otoczków: $2000 r_1/L$ i $2000 r_{max}/L$ (Cailleux i Richter) oraz współczynnika perymetrii "p" (Tonnarda)

Measurement samples of the rounding coefficient of boulders: $2000 r_1/L$ and $2000 r_{max}/L$ (Cailleux and Richter) and of perimetry coefficient "p" (Tonnard)



Ryc. 2. Średnie odchylenie standartowe z 10 obserwacji obtoczenia żwirów wg różnych metod
 Mean standard deviations from 10 observations of gravel rounding after various methods

Tab. 1. Porównanie współczynnika obtoczenia uzyskanego w oparciu o wizualną skalę Krumbeina z innymi współczynnikami obtoczenia
Comparison of the rounding coefficient obtained on the basis of the visual Krumbein scale with other rounding coefficients

Współczynnik wg Krumbeina	% udziału współczynników w przedziałach																Srednia wartość współczynnika	Metoda*					
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750			800	850	900	950	1000
	49	99	149	199	249	299	349	399	449	499	549	599	649	699	749	799			849	899	949	999	1000
0,1	83	17	17	50	33	—	—	—	—	—	—	17	17	17	32	17	—	—	—	—	—	25	Ca
																						175	Ri
																						700	To
				100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	150	DV
0,2	48	45	7	7	9	20	15	15	7	6	6	5	2	2	21	25	14	1	—	—	—	60	Ca
		6	7	7	9	20	15	15	7	6	6	5	7	9	18	25	14	1	—	—	—	275	Ri
																						725	To
			48	48	41	9	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	—	—	—	—	—	200	DV
0,3	47	40	9	2	2	11	9	9	6	6	5	5	2	2	24	20	9	6	5	2	—	70	Ca
			6	15	16	16	11	9	9	6	5	7	13	14	24	20	9	6	5	2	—	295	Ri
																						735	To
			16	16	47	16	—	—	2	—	—	—	—	—	19	19	—	—	—	—	—	275	DV
0,4	18	34	21	16	7	3	1	13	12	13	12	11	9	4	3	3	19	24	19	4	1	125	Ca
			4	4	4	6	14	13	13	12	11	11	2	5	6	19	20	24	19	4	1	435	Ri
																						790	To
			2	2	19	51	8	—	8	—	—	1	—	—	19	19	—	—	—	—	—	350	DV
0,5	4	13	15	21	20	12	8	4	2	1	22	15	12	8	3	2	1	1	7	2	—	215	Ca
					1	2	5	5	9	14	1	1	1	7	11	24	28	18	18	7	2	535	Ri
																						810	To
					1	1	45	39	—	39	6	—	—	—	9	9	—	—	—	—	—	410	DV

0,6	2	3	7	19	20	17	13	8	5	3	2	1	15	9	8	6	2	1	325	Ca
						1	2	3	5	13	17	18	6	9	22	24	22	10	675	Ri
						3		36		1	1	2	7	2				3	820	To
									52										525	DV
0,7		2	2	6	10	18	18	15	15	12	1	1	16	19	14	9	2		420	Ca
							2	4	9	12	13	3	4	10	15	26	25	15	730	Ri
						1		8	39		52							2	830	To
																			600	DV
0,8				2	6	4	6	7	20	20	11	7	6	5	5	1			540	Ca
									3	5	6	12	15	16	12	9	5	1	780	Ri
											4	4	4	4	16	21	30	15	860	To
									4			96							600	DV
0,9								3	3	8	8	23	31	10	10	4			675	Ca
												8	8	15	31	23	8	7	830	Ri
										100				8	8	38	31	15	890	To
																			600	DV

* Ca — współczynnik zaokrąglenia 2000 r_1/L ; Ri — współczynnik zaokrąglenia 2000 r_{max}/L ; To — współczynnik perimetrii 4000 $S/S \times L$; DV — obtoczenie wg wizualnej skali Dal Vesco; klasę I oznaczono przedziałem 100—200; klasę II 200—300 itd. Symbole literowe wzięto od pierwszych liter autorów metod.

* Ca — rounding coefficient 2000 r_1/L ; Ri — rounding coefficient 2000 r_{max}/L ; To — perimetry coefficient 4000 $S/P \times L$; DV — rounding after the visual Dal Vesco scale; class I was determined by the interval 100—200; class II by 200—300 interval etc. Letter symbols come from the authors' initials of the methods.

II. WIELKOŚĆ BŁĘDU SUBIEKTYWNEGO

Dla sprecyzowania wielkości błędu subiektywnego poddano badaniom dwie próbki, po 50 żwirów skał krystalicznych i wapieni. Próbki te były analizowane niezależnie przez 10 osób (studentów geografii UMCS w Lublinie). Obtoczenie żwirów określono za pomocą wizualnych szablonów metodą *Krumbeina* i *Dal Vesco*, oraz przez obliczenie współczynników zaokrąglenia $2000 r_1/L$ i $2000 r_{max}/L$. Nie wdając się w szczegółowe dociekania statystyczne, ocenę wielkości błędu subiektywnego oparto na wartościach odchylenia standartowego.⁴ Na ryc. 2 przedstawiono średnie odchylenia standartowe obliczone w oparciu o 10 określeń obtoczenia danego żwiru według różnych metod. Chcąc uzyskać podobną podstawę odniesienia błędu dla wszystkich metod, zastąpiono w skali wizualnej *Krumbeina* wartości współczynnika 0,1 liczbą 100, a dalej 0,2 — 200, ... 0,9 — 900, zaś dla skali *Dal Vesco* klasę żwirów I liczbą 100, II — 200, ... VI — 600.

W przypadku określania obtoczenia żwirów za pomocą wizualnej skali *Krumbeina* średnie standartowe odchylenie dla całego badanego materiału wynosiło 82. Na ryc. 2 daje się jednak zauważyć, że największe odchylenia występują w klasach współczynnika od 100 do 500 (według *Krumbeina* od 0,1 do 0,5), gdzie osiągają one około 100. Żwiry lepiej obtoczone o współczynnikach powyżej 500 mają średnie odchylenie standartowe niższe, kształtujące się na poziomie 70. Tak więc przy określaniu obtoczenia według wizualnej skali *Krumbeina* mogą powstawać omyłki przekraczające wartość jednej klasy współczynnika. Średnie odchylenie standartowe przy ocenie obtoczenia żwirów wizualną skalą *Dal Vesco* wynosiło 64. Przebieg odchyżeń we wszystkich klasach obróbki żwirów jest bardzo zbliżony do tej wartości. Przyjąć więc można, że pomyłki subiektywne, które występują przy zastosowaniu tej metody, mogą powodować przesunięcie obtoczenia żwiru o jedną klasę, rzadziej o więcej.

Przy określaniu obtoczenia żwirów za pomocą współczynnika $2000 r_1/L$ unikamy błędów indywidualnych takich, jakie właściwe są dla ocen wizualnych kształtu żwiru. Powstają natomiast różnice w odczytywaniu wartości dłuższej osi żwiru (L), a szczególnie pomiaru śred-

⁴ Odchylenie standartowe wyliczono w oparciu o wzór:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y})^2}{n}}$$

w którym: S — odchylenie standartowe, n — wielkość próby, y — wartość poszczególnych spostrzeżeń, \bar{y} — średnia arytmetyczna próby.

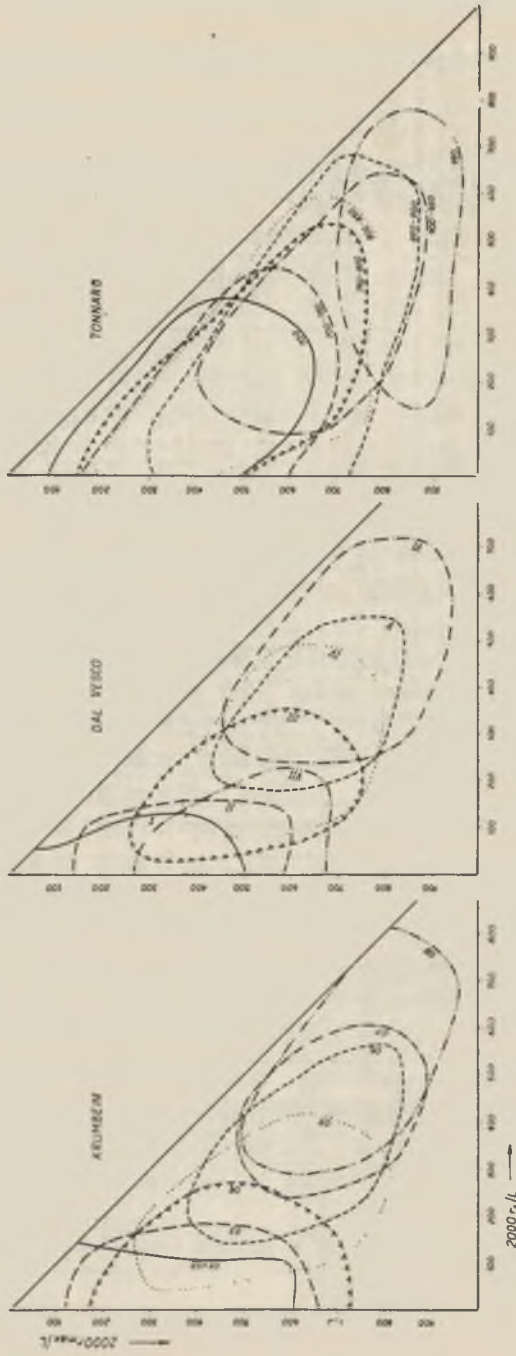
Tab. 2. Porównanie klas obtoczenia uzyskanych w oparciu o wizualną skalę Dal Vesco z innymi współczynnikami obtoczenia

Comparison of rounding classes obtained by means of the visual Dal Vesco scale with other rounding coefficients

Klasa wg Dal Vesco	% udziału współczynników w przedziałach																	Srednie wartości współczyn- nika	Metoda *				
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800			850	900	950	1000
I	49	99	149	199	249	299	349	399	449	499	549	599	649	699	749	799	849	899	949	1000	35	Ca	
	72	27	1	20	35	18	10	7	4	1		2	3	18	20	18	15	2	2	2	180	Ri	
				17	48			28		7											710	To	
																						270	Kr
II	37	46	11	4	11	13	21	14	13	9	5	1		9	10	21	23	18	8	2	1	65	Ca
			3	10							2	5	1									330	Ri
										1	2	5										760	To
						21	35		33		11											380	Kr
III	7	25	22	21	12	9	3	1	12	16	20	13	7	6	1	1						150	Ca
					2	4	9	9	9	9	9	1	4	6	15	22	27	16	8	1		490	Ri
						1	2	25	63													800	To
														3								530	Kr
IV		2	11	16	20	18	16	8	5	4		17	16	11	8	3						250	Ca
					3	3	3	7	11	21	17	16	1	1	6	11	22	29	21	8	1	520	Ri
																						315	To
											4					40						590	Kr
V		1	3	4	17	18	21	12	8	6	3	1										315	Ca
							1	1	3	3	13	14	16	19	10	10	7	3				640	Ri
											1	1	1	7	7	20	25	22	12	4		825	To
											1	10		67	21							660	Kr
VI					2	3	6	9	10	18	17	10	6	3	3	2	1	1				475	Ca
									1	2	5	8	13	16	14	14	6	3				720	Ri
													3	9	15	21	30	14	8			850	To
													14		39	42						790	Kr
VII	18	31	23	9	8	8	3	6	7	10	17	19	16	12	4	3	2	25	4	2		100	Ca
												1	3	4	8	11	20	22	25	4	2	510	Ri
												1	3	4	8	11	20	22	25	4	2	800	To
												46	9									510	Kr

* Ca — współczynnik zaokrąglenia 2000 r_i/L ; Ri — współczynnik zaokrąglenia 2000 r_{max}/L ; To — współczynnik perimetrii 4000 $S/P \times L$; Kr — obtoczenie wg wizualnej skali Krumbeina (współczynnik 0,1 oznaczono przedziałem 100—200, współczynnik 0,2 przedziałem 200—300 itd).

* Kr — rounding after the visual Krumbein scale; coefficient 0.1 determined by the interval 100—200, coefficient 0.2 — by the interval 200—300 etc. Other explanations as in Table 1



Ryc. 3. Porównanie wskaźników obtoczenia, uzyskanych za pomocą wizualnych skal Krumbeina, Dal Vesco oraz Tonnarda, ze współczynnikiem zaokrąglenia $2000 r_1/L$ i $2000 r_{max}/L$
 Comparison of rounding indices obtained by means of visual Krumbein, Dal Vesco and Tonnard scales with the rounding coefficient $2000 r_1/L$ and $2000 r_{max}/L$

nicy najmniejszego koła wpisanego w naroże żwiru.⁵ W większości przypadków różnice te powstają na skutek tego, że mierzone elementy żwirów trudno jest określić z dużą dokładnością. Powstaje konieczność zaokrąglenia wyników pomiaru z dokładnością do 1 mm. Tymczasem przy badanych żwirach o średnicy 2—5 cm jednomilimetrowe różnice w odczytach długości średnicy koła powodują znaczne rozbieżności w uzyskanych wynikach. I tak np. przy stałej długości $L = 34$ mm, a $2r_1 = 6$ mm, współczynnik zaokrąglenia równy jest 176, gdy przy $2r_1 = 5$ mm równy jest 147, a przy $2r_1 = 7$ mm odpowiada wartości 206. Większym błędem obciążone jest obliczenie współczynnika $2000r_{\max}/L$. Wynika to z trudności precyzyjnego określenia $2r_{\max}$. Przy tych pomiarach różnice dochodziły nawet do ± 2 mm w przypadku żwirów o płaskofalistym konturze.⁶ Mimo tych błędów bardzo wyraźnie stwierdzić można, że odchylenia standartowe przy wyliczaniu współczynników zaokrąglenia są niższe niż w przypadku metod wizualnych. Średnie standartowe odchylenie dla całego materiału, określonego za pomocą wzoru $2000r_{\max}/L$ wynosiło 56, natomiast przy zastosowaniu wzoru $2000r_1/L$ jeszcze mniej, a mianowicie 43. Należy jednak zauważyć, że odchylenia nawet tego rzędu, dla badanej frakcji żwirów, stawiają pod znakiem zapytania celowość wprowadzania zbyt dużej liczby klas wielkości tego wskaźnika. Niecelowe jest stosowanie klas z przedziałem wartości poniżej 50 jednostek.⁷

Jeśli chodzi o powtarzalność wyników przeprowadzonych przez jedną osobę, to w oparciu o wyniki trzykrotnej analizy tego samego materiału, tą samą metodą, w odstępach miesięcznych — można stwierdzić, że różnice są małe i dla samej osoby przedstawiają się następująco: przy wizualnej ocenie za pomocą skali *Krumbeina* odchylenie standartowe wynosi 28, dla skali *Dal Vesco* — 20, a przy obliczeniach współczynników zaokrąglenia ($2000r_1/L$ i $2000r_{\max}/L$) około 30.

Kończąc powyższe rozważania warto przytoczyć wyniki badań *Tonnarda* (1964). Autor ten w oparciu o analizę 10 próbek (z jednego miejsca), po 25 ziarn piasku z każdej, dziewięcioma różnymi metodami morfometrycznymi doszedł do wniosku, że najwyższe odchylenia powstają w przypadku stosowania pomiarów promieni naroży okruchów,

⁵ Blżej zagadnienie błędów związane z pomiarami kół wpisanych w naroża otoczków omawiają *W. Bobrowski* i *J. Kossakowska-Such* (1961).

⁶ Tak duże rozbieżności w pomiarach należy częściowo łączyć z faktem, że materiał ten analizowany był przez osoby nie mające dużej wprawy w badaniach morfometrycznych żwirów.

⁷ Chcąc uniknąć tego błędu *Richter* (1954) sugeruje stosowanie przedziałów średnich współczynnika zaokrąglenia, zaś *Blenk* (1960) wskazuje na konieczność opierania się o średnie wartości współczynników morfometrycznych.

stanowiących podstawę wyliczeń metodami Wedella, Cailleux, Gougela i Kuenena. Najmniejsze odchylenia otrzymał Tonnard przy stosowaniu wzorów opartych na pomiarach obwodu (perymetrii) i powierzchni okruchów, a więc za pomocą wzoru Coxa oraz swojego własnego (tzw. wzór Tonnarda).

III. CZAS WYKONYWANIA ANALIZY

Opierając się na własnej analizie kilkuset próbek żwirów z różnych środowisk sedymentacyjnych, przyjąć możemy, że oznaczenie stopnia obtoczenia dla próbki złożonej z 50 żwirów w oparciu o fotografię tych żwirów odbywa się średnio w przeciągu 10 minut przy stosowaniu skali Krumbeina oraz 12 minut przy stosowaniu skali Dal Vesco. Określenie współczynników zaokrąglenia $2000r_1/L$ lub $2000r_{max}/L$, a więc wykonanie pomiarów i odczytanie wartości współczynników z uprzednio przygotowanych tablic, zajmuje około 1 godz. i 10 minut. Chcąc więc uzyskać parametry do wyliczenia zaokrąglenia metodą proponowaną przez Richtera, należy poświęcić czas około 2,5 godz. na opracowanie jednej próbki. Najdłużej trwa wyliczenie współczynnika perymetrii określanego według wzoru Tonnarda. W oparciu o analizę 30 próbek można przyjąć, że opracowanie jednej próbki złożonej z 50 żwirów zajmuje 4,5 godziny, z czego przeszło połowa przypada na planimetryczny pomiar powierzchni żwirów. Ostatnio, względne porównanie czasu przypadającego na określenie stopnia obtoczenia składników mineralnych za pomocą 9 najbardziej znanych metod matematycznych podaje Tonnard (1964). Przyjmując czasochłonność metody Cailleux za jednostkę, obliczył on, że na określenie współczynnika perymetrii przypada 5,3 takich jednostek. Maksymalną ilość czasu zajmuje określenie obtoczenia w oparciu o wzór Wadella (11,2 jednostek).

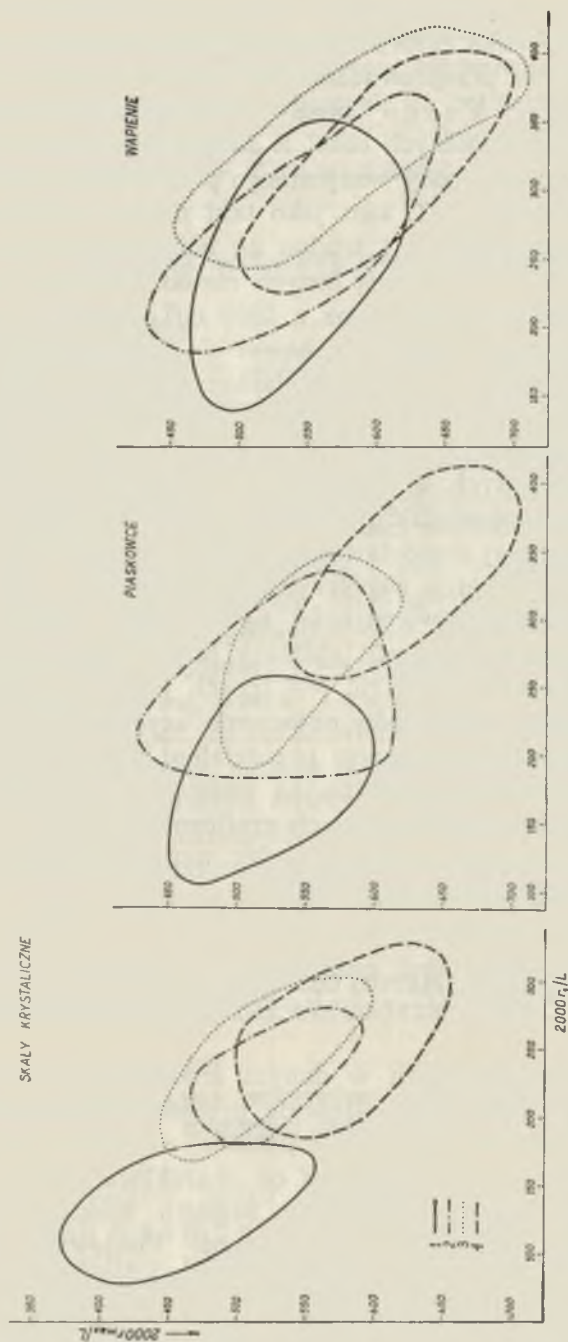
IV. PRÓBA PORÓWNIANIA WYNIKÓW OBTOCZENIA UZYSKANYCH RÓŻNYMI METODAMI

Zestawienie wyników badań obtoczenia żwirów metodami wizualnymi według skali Krumbeina i Dal Vesco znajduje się w tabelach 1 i 2. Rezultaty uzyskane zmodyfikowaną metodą Richtera przedstawia wykres (ryc. 2). Porównania oparto na wykonanej przez autorów analizie około 15 000 żwirów zaś dla metody Tonnarda na materiale liczącym około 1 500 żwirów. W świetle przedstawionych danych trudno jednoznacznie korelować między sobą poszczególne wskaźniki obtoczenia i wyznaczać dla nich ścisłe, przyjęte umownie

granice liczbowe (np. w przedziałach co 50 czy 100 jednostek w odniesieniu ich do współczynnika $2000r_1/L$). Można jednak zauważyć, że określenie obtoczenia żwirów przeprowadzone w oparciu o metody wizualne Krumbeina i Dal Vesco oraz o współczynnik zaokrąglenia $2000r_1/L$ posiada wiele wspólnych cech. Z załączonych tabel wynika, że można nawet podejmować próby wzajemnego przeliczania tych wskaźników. Współczynnik $2000 r_{max}/L$ sam jako taki nie ma większych wartości dla charakterystyki żwiru i trudno go bezpośrednio porównywać z wynikami uzyskanymi za pomocą innych metod. Niemniej łączne potraktowanie tego współczynnika wraz z $2000 r_1/L$ pozwala na dokładniejsze scharakteryzowanie żwiru, a nawet na częściowe uchwycenie żwirów dobrze obtoczonych, a potem przełamanych. Żwiru takie w świetle wizualnej skali Krumbeina mają wartości współczynnika 0,3 do 0,5, a przy współczynniku $2000r_1/L$ łączone są we wspólną grupę żwirów skrajnie kanciastych o wartościach współczynnika poniżej 150. Bardzo trudno jest przeprowadzić porównanie między wynikami uzyskanymi w oparciu o powyżej przedstawione metody a rezultatami otrzymanymi na podstawie wyliczenia współczynnika perymetrii, mimo ogólnie dającego się sformułować stwierdzenia, że im lepiej obtoczony żwir, im bardziej rzut jego na fotografii zbliżony jest do koła, tym posiada on wyższy współczynnik perymetrii. Nie sposób jednak uchwycić przedziałów liczbowych dla wskaźników obtoczenia uzyskanych innymi metodami, odpowiadających określonym przedziałom współczynnika perymetrii. Wyraźnie zauważyć to można na podstawie wyników załączonych w tab. 1 i 2 oraz przedstawionych graficznie na ryc. 1 i 3, które nie potwierdzają wyraźnego związku między współczynnikami $2000r_1/L$ i $2000_{max}/L$ a współczynnikiem perymetrii.

V. SPRAWNOŚĆ WYBRANYCH METOD OZNACZANIA OBTOCZENIA ŻWIRÓW W ZALEŻNOŚCI OD JAKOŚCI PETROGRAFICZNEJ BADANYCH SKŁADNIKÓW

Kształt żwirów formowanych w danym środowisku sedymentacyjnym zależy z jednej strony od natężenia procesów dynamicznych zachodzących w nim oraz od charakteru podłoża, na którym odbywa się przemodelowanie żwirów, z drugiej zaś od charakteru samych żwirów, tzn. od ich wielkości (wagi), pierwotnego kształtu, tekstury skały oraz od ich odporności na ścieranie i rozdrabnianie. Ponieważ zagadnienia te omawiane były przez wielu autorów, a szczególnie przez Krumbeina (1941), A. Cailleux (1959), J. Tricarta (1960) oraz Kuena (1956, 1964), ograniczamy się do podania ogólnych uwag o znaczeniu obtoczenia różnych grup petrograficznych żwirów przy badaniach środowisk sedymentacyjnych. W oparciu o obserwację obtoczenia



Ryc. 4. Współczynniki zaokrąglenia — obtoczenia żwirów w genetycznie różnych środowiskach; 1 — pole żwirów z glin zwałowych, 2 — pole żwirów rzecznych, 3 — pole żwirów fluwioglacjalnych, 4 — pole żwirów morskich
Rounding coefficients of boulders under genetically different conditions; field of gravels from boulder clays, 2 — field of river gravels, 3 — field of fluvioglacial gravels, 4 — field of sea gravels

Tab. 3. Obtoczenie żwirów glacialnych (Gl) i morskich (M) wg skali Krumbeina
Rounding of glacial gravels (Gl) and sea gravels (M) after Krumbein scale

Żwiry		Ilość próbek	% udziału współczynnika w przedziałach								
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Skały krystaliczne	Gl	80	3	8	16	22	42	7	2	+	—
	M	35	—	2	2	12	40	33	6	5	+
Wapienie	Gl	50	+	4	8	15	35	23	9	6	+
	M	35	—	—	—	4	30	40	17	8	1
Piaskowce	Gl	50	+	4	9	16	35	21	9	6	+
	M	35	—	—	—	2	24	34	23	13	4

Tab. 4. Obtoczenie żwirów glacialnych (Gl) i morskich (M) wg skali Dal Vesco
Rounding of glacial gravels (Gl) and sea gravels (M) after Dal Vesco scale

Żwiry		Ilość próbek	% udziału współczynnika w przedziałach						
			I	II	III	IV	V	VI	VII
Skały krystaliczne	Gl	80	7	27	27	9	3	2	25
	M	35	—	2	26	33	22	12	5
Wapienie	Gl	50	8	10	25	27	14	7	9
	M	35	—	—	9	28	37	25	1
Piaskowce	Gl	50	2	20	29	14	6	3	26
	M	35	—	—	5	22	40	31	2

żwirów nie można jednoznacznie określić środowiska sedymentacyjnego, w którym zostały uformowane. W zależności bowiem od długości przebytej drogi, czasu i charakteru transportu (obróbki mechanicznej) obtoczenie danej grupy petrograficznej żwirów w tym samym środowisku może wykazywać poważne zróżnicowanie i upodabniać się do obtoczenia żwirów ukształtowanych w innych genetycznie środowiskach.⁸

Wyraźne pokrywanie się wskaźników obtoczenia żwirów z różnych genetycznie środowisk prześledzić można na ryc. 4. Na rycinie tej pole materiału lodowcowego wyznaczono w oparciu o wyniki analiz 100 próbek żwirów glin zwałowych Polski wschodniej i północnej; pole materiału fluwioglacjalnego wyznaczono z 15 próbek żwirów zebranych z terenu białostockiego i lubelskiego; pole materiału rzeczno — 12 pró-

⁸ Dla uniknięcia ząębienia się obtoczenia w różnych środowiskach K. Richter (1958) posługuje się równocześnie współczynnikiem zaokrąglenia oraz współczynnikiem spłaszczenia żwirów, których wartości zamieszcza na osiach współrzędnych.

Tab. 5. Współczynnik zaokrąglenia 2000 r_1/L żwirów glacialnych (Gl) i morskich (M)
Rounding coefficient 2000 r_1/L of glacial gravels (Gl) and sea gravels (M)

Żwiry	Ilość próbek	% udziału współczynnika w przedziałach															
		0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Skały krystaliczne	Gl	22	25	18	13	9	6	4	2	1	—	—	—	—	—	—	—
	M	35	3	10	12	18	15	12	10	7	5	3	2	1	1	1	+
Wapienie	Gl	63	6	11	12	12	14	13	10	8	6	4	2	1	—	—	—
	M	35	1	6	6	10	11	12	13	11	8	10	5	3	2	1	—
Piaskowce	Gl	82	12	22	18	15	13	8	5	3	2	1	1	—	—	—	—
	M	35	—	2	4	10	16	9	16	14	9	8	4	3	2	1	1

Tab. 6. Współczynnik zaokrąglenia 2000 r_{max}/L żwirów glacialnych (Gl) i morskich (M)
Rounding coefficient 2000 r_{max}/L of glacial gravels (Gl) and sea gravels (M)

Żwiry	Ilość próbek	% udziału współczynnika w przedziałach																				
		0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
Skały krystaliczne	Gl	110	—	2	3	7	6	5	9	9	13	10	15	8	5	4	2	1	1	+	—	—
	M	35	—	+	+	+	1	3	4	7	9	10	12	15	13	10	7	5	3	1	—	—
Wapienie	Gl	63	—	—	—	+	2	3	6	6	8	8	16	14	14	10	7	4	2	+	—	—
	M	35	—	—	—	—	—	1	2	3	5	10	11	14	16	12	12	9	4	1	—	—
Piaskowce	Gl	82	—	1	1	2	4	4	4	8	12	20	14	14	9	5	1	1	+	—	—	—
	M	35	—	—	—	—	+	1	3	6	9	10	12	12	13	14	10	5	4	1	—	+

bek z koryta i terasy zalewowej Sanu oraz 9 próbek żwirów z potoków Pojezierza Zachodniego.⁹ Pole materiału morskiego wyznaczono z 35 próbek zebranych z wybrzeży Bałtyku.

W oparciu o dane zamieszczone na ryc. 4 stwierdzić można, że obtoczenie żwirów w środowisku glacialnym odbiega od tego, które charakterystyczne jest dla środowiska wodnego. Żwirry rzeczne, morskie i fluwioglacialne charakteryzują się podobnymi współczynnikami zaokrąglenia, co wyraża się w ścisłym zachodzeniu na siebie pól tych różnych genetycznie żwirów (oczywiście w obrębie jednej grupy petrograficznej). Ponieważ powyżej stwierdzono podobne obtoczenie żwirów uformowanych w wyniku transportu wodnego, rozstrzygnięcie problemu, która metoda najlepiej nadaje się do badań genetycznych, jest dość trudne. Przydatność metod można ocenić tylko przez porównanie między żwirami glacialnymi (z glin zwałowych) i wybranym materiałem ze środowisk wodnych. Zdecydowano się na wybór żwirów morskich, które

Tab. 7. Współczynnik perymetrii 4000 S/P×L żwirów glacialnych (Gl) i morskich (M)
Perimetry coefficient 4000 S/P×L of glacial gravels (Gl) and sea gravels (M)

Żwir	Ilość próbek	% udziału współczynnika w przedziałach												
		400 449	450 499	500 549	550 599	600 649	650 699	700 749	750 799	800 849	850 899	900 949	950 1000	
Skały kry- staliczne	Gl	5	—	+	1	4	6	7	14	20	23	16	7	2
	M	5	+	+	1	1	2	6	11	24	29	20	5	1
Wapień	Gl	5	+	+	1	1	4	9	11	21	29	14	9	1
	M	5	—	+	+	2	5	9	10	16	25	21	10	2
Piaszczyste	Gl	5	—	—	1	2	4	7	11	24	22	17	10	2
	M	5	—	+	+	1	1	8	10	16	21	23	11	9

w przeciwieństwie do fluwioglacialnych i rzecznych najbardziej odbiegają swym obtoczeniem od żwirów z glin zwałowych (będących zresztą dla nich materiałem wyjściowym). Porównanie tych wyników przedstawione zostało w tab. 3—7. Zawarte w nich wyniki pozwalają stwierdzić, że wyliczenie współczynnika perymetrii *Tonnarda* nie spełnia należytej roli (tab. 7). Nie daje się bowiem na podstawie współczynnika perymetrii uchwycić większego zróżnicowania między żwirami środo-

⁹ Z braku możliwości porównania identycznych skał, z konieczności mniej odporny na niszczenie mechaniczne osadowy materiał karpacki zestawiony został z materiałem północnym. Mimo tych odrębności petrograficznych współczynniki zaokrąglenia żwirów wapiennych i piaszczystych Sanu nawiązywały do odpowiadających im petrograficznie żwirów z północy Polski.

wiska glacialnego i morskiego, jak również między odrębnymi petrograficznie żwirami. Zmodyfikowana metoda Richtera spełnia postawione przed nią zadanie (ryc. 4, tab. 5 i 6), i pozwala na oddzielenie żwirów środowiska glacialnego od morskiego. Najlepiej uwidacznia to materiał żwirowy skał krystalicznych, najgorzej — skał wapiennych. Wskaźniki obtoczenia żwirów określone według skał wizualnych *Krumbeina* i *Dal Vesco* również pozwalają na oddzielenie materiału morskiego od lodowcowego (większe zróżnicowanie występuje przy stosowaniu skał *Dal Vesco*).

O ile w świetle powyżej przedstawionych danych dochodzi się do wniosku, że samo obtoczenie żwirów nie określa nam jednoznacznie środowiska, w którym zostały one uformowane, to może być jednak pomocne przy określaniu procesów dynamicznych zachodzących w nim. Znajduje to odbicie w całym szeregu prac, np.: *Tricarta* (1950), *Wiesera* (1954), *Cailleux* (1959), *Nawary* (1960), *Matisty* (1961) i *M. Jahn* (1962), a poparte jest eksperymentalnymi obserwacjami *Krumbeina* (1941), *Kuenera* (1956, 1964), *Sarmiento Alarcón* (1960) oraz szeregiem innych opracowań. Należy tu jednak zwrócić uwagę, że istnieje ściśle powiązanie między rodzajem petrograficznym żwiru a jego obtoczeniem. Jak podają *E. D. Sneed* i *R. L. Folk* (1958), którzy badali otoczaki rzeczne, najlepsze rezultaty uzyskuje się prowadząc badania na żwirach kwarcu o średnicy 32—64 mm. Materiał mało odporny na ścieranie (np. wapienie) już w źródłowym odcinku rzeki ulega szybko obtoczeniu, nie wykazując w dalszym jej biegu wyraźniejszych zmian.

VI. WNIOSKI

1. Określanie obtoczenia żwirów w oparciu o metody wizualne obarczone jest wyższym błędem subiektywnym niż przy zastosowaniu metod matematycznych. Jednak zaletą metod wizualnych jest to, że w oparciu o nie w krótszym czasie przeprowadza się oznaczenie stopnia obtoczenia materiału żwirowego. Z przeprowadzonych badań wynika, że ocena wizualna przeprowadzona w oparciu o skałę *Dal Vesco* charakteryzuje się mniejszymi odchyleniami standartowymi niż określenie dokonane w oparciu o skałę *Krumbeina*.

2. Między współczynnikami $2000 r_1/L$ i $2000 r_{max}/L$, charakteryzującymi równocześnie obtoczenie żwiru, a określeniami przeprowadzonymi na podstawie wizualnych skał *Krumbeina* i *Dal Vesco* istnieje wyraźna zależność, nie można jednak ustalić ścisłych granic danego wskaźnika przy porównaniu go ze wskaźnikiem uzyskanym w oparciu o inną metodę. Znacznie trudniej jest przeprowadzić porównanie wyni-

ków między uzyskanymi na podstawie przedstawionych powyżej metod a otrzymanymi na podstawie współczynnika perymetrii Tonnarda.

3. Obtoczenie żwirów, określone według oceny wizualnej (skale Krumbeina i Dal Vesco) oraz przez współczynniki zaokrąglenia $2000 r/L$ i $2000 r_{max}/L$, pozwala na uchwycenie różnic między żwirami uformowanymi w różnych dynamicznie warunkach, np. uformowanych przez lodowiec i pod wpływem działalności wody. Nie można jednak dokładnie przeprowadzić rozróżnienia między żwirami środowiska rzeczno-fluwioglacjalnego, a nawet i morskiego. Współczynnik perymetrii żwirów nie pozwala na oddzielenie nawet żwirów lodowcowych od morskich, jak również nie wykazuje większego zróżnicowania w odrębnych petrograficznie grupach żwirów.

Na zakończenie autorzy pragną wyrazić serdeczne podziękowanie mgr J. Rzechowskiemu za cenne uwagi krytyczne oraz udostępnienie literatury przedmiotowej.

LITERATURA

1. Barsch H., Brunner H.: Vergleichende Untersuchungen zur morphometrischen Analyse fluvialer Gerölle. Report of the Vith International Congress on Quaternary, Warsaw 1961, vol. III, ss. 21—38, Łódź 1963.
2. Blenk M.: Ein Beitrag zur morphometrischen Schotteranalyse. Zeitschrift für Geomorphologie, 4, z. 3—4, ss. 202—242, Berlin 1960.
3. Bobrowski W., Kociszewska-Musiał G.: Analiza żwirów Dunajca między Tatrami a Pieninami na tle morfologii i geologii obszaru zlewni (Analysis of Dunajec Gravels between Tatra Mountains and Pieniny Water Gap). Kwart. Geolog., 3, z. 2, ss. 391—413, Warszawa 1959.
4. Bobrowski W., Kossakowska-Such J.: Dokładność pomiaru stopnia obtoczenia ziarn skalnych (Exactness of Rounding Degree Measurement of Rock Grains). Biul. Geol. U. W., t. 1, cz. 1, ss. 138—147, Warszawa 1961.
5. Cailleux A., Tricart J.: Initiations a l'etude des sables et des galets. vol. 3, ss. 1—776, CDU, Paris 1959.
6. Jahn M.: Otoczaki płażowe Zatoki Pomorskiej (Beach pebbles of the Pomerania Bay), Czasop. Geogr., XXXIII, z. 1, ss. 129—135, Warszawa—Wrocław 1962.
7. Kosmowska-Ceranowicz B.: Zachowanie się otoczków wapieni i dolomitów we współczesnych osadach Koprzywnianki (Behaviour of Limestone and Dolomite Pebbles in Recent Koprzywnianka Deposits — Święty Krzyż Mts). Zbiór prac i komunikatów treści geologicznej, ss. 42—50, Warszawa 1960.
8. Krumbein W. C.: Measurement and Geological Significance of Shape and Roundness of Sedimentary Particles. Journ. Sedim. Petrol., 11, nr 2, ss. 64—73, Chicago 1941.
9. Krumbein W. C.: The Effects of Abrasion on the Size, Shape and Roundness of Rock Fragments. Journ. Geol., 49, nr 5, ss. 482—521, Chicago 1941.
10. Kucharenko A. A.: Minieralogija rossypiej. ss. 1—318, Gosgeol'technizdat, Moskwa 1961.

11. K u e n e n P h. H.: Experimental Abrasion of Pebbles I Wet Sandblasting. *Leidae geologische Mededelingen*, 20, ss. 142—147, Leiden 1956.
12. K u e n e n P h. H.: Experimental Abrasion: 6. Surfacion. *Sedimentology*, 3, nr 1, ss. 29—43, 1964.
13. M a t i s t o A.: On the Relation between the Stones of the Ekskeres and the Local Bedrock in the Area Northwest of Tampere, Southwestern Finland. *Biul. I Comm. géol. Finlande*, 193, Helsinki 1961.
14. M i h a i l e s c u N.: Diagrammes concernant le nombre de mesures nécessaires aux études morphométriques. *Rev. Roum. Géol., Géophys. et Géogr., Serie de Geologie*, t. 9, nr 1, ss. 31—40, Bucarest 1965.
15. N a w a r a K.: Analiza kształtu otoczków w górnym biegu Dunajca i jego dopływach na Podhalu (Analysis on the shape of pebbles in the upper course of the Dunajec River and in its Podhale tributaries — North of the Tatra Mts). *Zbiór prac i komunikatów treści geologicznej*, ss. 3—35, Warszawa 1960.
16. N a w a r a K.: Transport i sedymentacja współczesnych żwirów Dunajca i jego niektórych dopływów (Recent transport and sedimentation of gravels in the Dunajec and some of its tributaries). *Prace Muzeum Ziemi*, 6, ss. 3—100, Warszawa 1964.
17. P o p r a w s k i Z.: Analiza stopnia zaokrąglenia otoczków Prądnika i jego dopływów (Indice d'emcusse des galets du Prądnik et de ses affluents). *Acta Geographica Lodziensia*, 16. Materiały do poznania współczesnych procesów morfogenetycznych, ss. 57—66, Łódź 1963.
18. R a c i n o w s k i R.: Morfologia żwirów z glin zwałowych Polski wschodniej. *Kwart. Geol.*, t. X, z. 1, Warszawa 1966.
19. R i c h t e r K.: Geröllmorphometrische Studien in den Mittelterrassenschottern bei Gronan a. d. Leine. *Eiszeitalter n. Gegenwart*, 4/5, ss. 216—220, Öhringen 1954.
20. R i c h t e r K.: Bildungsbedingungen pleistozäner Sedimente Niedersachsens auf Grund morphometrischer Geschiebe- und Geröllanalysen. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, 110, nr 2, ss. 400—435, Hannover 1958.
21. S a r m i e n t o A l a r c ó n A.: Estudio experimental de abrasion en guijarros, *Boletín geológico*, VIII, nr 1—3, ss. 169—226, Bogota 1961.
22. S n e e d E. D., F o l k R. L.: Pebbles in the Lower Colorado River, Texas. A Study in Particle Morphogenesis. *Journ. Geol.*, 66, nr 2, ss. 114—150, Chicago 1958.
23. S z á d e c z k y - K a r d o s s E.: Die Bestimmung des Abrollungsgrades. *Centralblatt f. Miner., Geol. u. Paläont., Abt. B* 7, ss. 389—401, Stuttgart 1933.
24. T o n n a r d U.: Critères de sensibilité appliqués aux indices de forme des grains de sable. *Developments in Sedimentology*, v. 1, Deltaic and Shallow Marine Deposits, ss. 410—416, Amsterdam 1964.
25. T r i c a r t J., S c h a e f f e r R.: L'indice d'é mousse des galets, moyen d'étude des systèmes d'érosion. *Rev. Geomorph. Dyn.*, 4, ss. 151—179, Paris 1950.
26. U n r u g R.: Współczesny transport i sedymentacja żwirów w dolinie Dunajca (Recent transport and sedimentation of gravels in the Dunajec valley — Western Carpathians). *Acta Geol. Polonica*, VII, nr 2, ss. 217—251, Warszawa 1957.
27. W e n t w o r t h C h. K.: An Analysis of the Shapes of Glacial Cobbles. *Jour. Sed. Petrol.*, 6, nr 2, ss. 85—96, Menasha 1936.

28. Wieser T.: Spostrzeżenia nad sedymentacją zlepieńców fliszu karpackiego (Some observations on the sedimentation of conglomerates in the Carpatian Flysch). Acta Geol. Polonica, IV, nr 3, ss. 341—360, Warszawa 1954.
29. Wistielius A. B.: Morfometrija obłocznych czastic. Trudy laboratorii aerometodow, IX, ss. 135—202, Moskwa—Leningrad 1960.
30. Wojno T. J., Pentlakowa Z.: Własności techniczne skał. Wyd. Geol., Warszawa 1956.

К вопросу о методике определения степени окатанности гравия

Резюме

В настоящей работе рассматриваются методы, пользуясь которыми можно определить степень окатанности гравия. Выбранный метод должен отвечать следующим условиям: малая субъективная ошибка; высокая степень повторяемости результатов; экономия времени, и наконец решать главнейшую задачу, т. е. опираясь на полученные результаты, позволяя бы выделить различные седиментационные среды или уловить перемены, происходящие в одной и той же среде.

В результате проведенных исследований авторами установлено, что:

1. Определение окатанности гравия при помощи визуальных методов (образцы Крумбейна и Даль Веско) отмечалось более высокой субъективной ошибкой, чем при применении математических методов. Однако достоинством визуальных методов является то, что с их помощью обозначение окатанности гравия проводится в более короткий промежуток времени. Из проведенных исследований вытекает, что визуальная оценка, совершенная на основе шкалы Даль Веско, характеризуется гораздо меньшими стандартными отклонениями, чем определения, выполненные с применением шкал Крумбейна (рис. 2).

2. Между коэффициентами $2000 r_1/L$ и $2000 r_{\max}/L$, где r_1 = радиус наименьшей окружности, которую можно вписать в угольник гравия, r_{\max} — радиус наибольшей окружности, вписанной в гравий, L — долгота гравия (Cailleux и Richter), характеризующими одновременно окатанность гравия, и определениями, проведенными на основании визуальных шкал Крумбейна и Даль Веско, существует отчетливая зависимость. Однако точные границы данного показателя при его сравнении с показателем, полученным на основе другого метода, установить трудно.

Более трудным является сравнение результатов, полученных на основании выше представленных методов и коэффициентов периметрии Тоннарда

($p = \frac{4000 \times S}{P \times L}$), где p = коэффициент периметрии,

S — поверхность гравия, P — окружность гравия, L — длина гравия).

Это сравнение представлено на рис. 3, а также в таблицах 1 и 2.

3. Окатанность гравия, определенная по визуальной оценке (шкалы Крумбейна и Даль Веско), а также на основании коэффициентов округления $2000 \text{ г}_1/L$ и $2000 \text{ г}_{\text{max}}/L$, дают возможность понять разницу между гравием, сформированным в разных динамических условиях, например, в ледниковых условиях и под влиянием водной динамики. Однако при водной динамике нельзя провести точного разграничения между речной, флювиогляциальной, а также морской средами. Коэффициент периметрии гравия даже не позволяет отличить ледниковый гравий от морского, а также не выявляет большего дифференцирования в обособленных петрографических группах гравия.

Сравнение окатанности гравия в разнородных средах представлено на рис. 4, а в морской и гляциальной средах (гравий и валунные глины) — в таблицах 3—7.

ОБЪЯСНЕНИЯ К РИСУНКАМ

Рис. 1. Примеры измерений коэффициентов округления окатанного гравия: $2000 \text{ г}_1/L$ и $2000 \text{ г}_{\text{max}}/L$ (Cailleux и Richter), а также коэффициента периметрии „ p ” (Тоннарда).

Рис. 2. Среднее стандартное отклонение из 10 наблюдений окатанности гравия по различным методам.

Рис. 3. Сравнение показателей окатанности, полученных при помощи визуальных шкал Крумбейна, Даль Веско, а также Тоннарда с показателем округления $2000 \text{ г}_1/L$ и $2000 \text{ г}_{\text{max}}/L$.

Рис. 4. Показатели округления — окатанность гравия в различных генетических средах: 1 — поле гравия из валунных глин; 2 — поле речного гравия; 3 — поле флювиогляциального гравия; 4 — поле морского гравия.

A Note on Methods for the Determination of the Gravel Rounding Degree

Summary

The authors were looking for a method by which the rounding of gravels could be estimated. Given proper data, it is expected to meet the following conditions: small subjective error, great economy of time;

it ought to distinguish different sedimentary environments and should determine changes under way in an environment.

The results of the investigations are as follows:

1. The determination of gravel rounding by visual methods (Krumbein and Dal Vesco standards) is charged with a higher error than that determined by mathematical methods. The advantage of visual methods, however, is a shorter time for the determination of gravel rounding. As results from the investigations the visual estimation based on the Dal Vesco scale is characterized by smaller standard deviations than that based on the Krumbein scale (Fig. 2).

2. There exists a distinct dependence between coefficients $2000 r_1/L$ and $2000 r_{\max}/L$, where r_1 is the radius of the smallest circle which can be inscribed into the angles of a gravel, r_{\max} is the radius of the largest circle inscribed into a gravel, L is the length of a gravel (Cailleux and Richter) characterizing the gravel rounding and the determinations based on Krumbein's and Dal Vesco's scales. No distinct limits of a given index can be determined in comparison with the index obtained by another method.

It is much more difficult to compare the results obtained by the above methods with those obtained by Tonnard's perimetry coefficient

$$(p = \frac{4000 \times S}{P \times L}), \text{ where } p = \text{perimetry coefficient, } S = \text{gravel surface,}$$

$P = \text{gravel circumference, } L = \text{gravel length. This comparison is shown in Fig. 3 and in Tables 1 and 2.}$

3. The rounding of gravels determined by visual estimation (Krumbein and Dal Vesco scale) and by the rounding coefficients $2000 r_1/L$ and $2000 r_{\max}/L$ permit to find the differences between gravels formed under different dynamic conditions, e.g. under glacial conditions and under the influence of water dynamics. As to the latter, however, an accurate distinction between river, fluvioglacial and even sea conditions cannot be made. The perimetry coefficient of gravels does not permit distinguishing even glacial gravels from sea gravels; it does not show a distinct differentiation in petrographically different gravel groups. The comparison of gravel rounding under different conditions is shown in Fig. 4, but that for the sea environment and glacial period (gravels from boulder clays) in Tables 3—7.

